

## 고체 이산화탄소를 이용한 고농도 이산화탄소와 예냉 처리가 싹채소의 저장성에 미치는 영향

강호민<sup>1\*</sup> · 최인이<sup>1</sup> · 김일섭<sup>1</sup> · 박권우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 원예학과, <sup>2</sup>고려대학교 생명과학대학 생명공학부

### Effect of High Concentration Carbon Dioxide and Pre-Cooling Treated with Solid Carbon Dioxide on the Storability of Radish Sprout in MA Storage

Ho-Min Kang<sup>1\*</sup>, In-Lee Choi<sup>1</sup>, Il Seop Kim<sup>1</sup>, and Keun Woo Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>2</sup>Division of Biotechnology, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 132-701, Korea

**Abstract.** The solid carbon dioxide used for prolongation shelf life of radish sprout that was just 7days. The developed equipment for treated carbon dioxide consisted of solid carbon dioxide evaporated part and high carbon dioxide and low temperature treated part that can hold products. The inner temperature of equipment decreased temperature to below 5°C from room temperature for 10minutes and carbon dioxide concentration increased to 80%. The radish sprouts treated 4 different conditions that was nontreated condition (control), solid carbon dioxide put into package (CO2-1), solid carbon dioxide treated before storage using the developed equipment (CO2-2), solid carbon dioxide treated before storage and during storage, and sprout packaged with solid carbon dioxide (CO2-3). These radish sprout packaged with 25µm ceramic film stored at 8°C. The high carbon dioxide treatment did not affect the fresh weight loss. The carbon dioxide and oxygen content in package changed 40% and 10%, respectively in CO2-1 and CO2-2 at 1day after treatments. But carbon dioxide content of all treatments was decreased to 5% and stabilized. The high carbon dioxide showed the effect of reduction ethylene production, but did not affect to visual quality and offodor.

**Key words :** ethylene, fresh weight loss, offodor, oxygen, visual quality

## 서 론

싹채소는 재배중 화학비료나 농약의 위험성이 없으며(Meyerowitz, 1999), 성채보다 비타민, 미네랄 등의 함량이 많아, 최근 식품의 안정성과 기능성이 강조하는 소비자의 소비패턴에 부합되는 농산물이다(Kang과 Kim, 2007). 또한 싹채소는 농산물의 이용면에서도 세척 포장되어 판매되기 때문에 샐러드, 비빔밥 등에 다른 조리과정 없이 바로 이용할 수 있는 편이성까지 높다. 이러한 여러 장점 때문에 싹채소는 생산과 판매가 급속히 증가되고 있으나 조직이 연해 쉽게 상품성

을 잃어버리는 문제점이 있다. 현재 싹채소의 유통기한이 대체로 7일 이내이다. 원예산물의 저장성을 향상시키는 방법 중 하나인 예냉은 많은 원예산물에 효과적인데(Kader, 2002), 싹채소 중에는 mung bean싹의 예냉 효과가 보고된 바 있다(DeEll 등, 2000). 그러나 국내 유통에서는 싹채소의 예냉 효과에 대한 인식이 부족하여 장기간이 소요되는 room cooling 정도만이 이용되고 있는 실정이다. 고농도 이산화탄소는 얼마 전까지만 하여도 저장중 장해를 유발하는 요인으로 저장중 피해야 하는 조건이었다(Park과 Lee, 1992; Lee, 1996). 그러나 최근 들어 대추(Yang과 Lee, 2003), 오이(Akbudaka 등, 2007), 그리고 신선편이 당근(Amanatidou 등, 2008)과 케일(Fonseca 등, 2005) 등을 대상으로 저장전 단기간 고농도 이산화탄소 처리

\*Corresponding author: yhkim@chonbuk.ac.kr  
Received August 26, 2009; Revised September 3, 2009;  
Accepted September 15, 2009

가 저장성을 향상시킨다는 보고가 발표되고 있다. 본 연구는 그 동안 극저온의 온도로 냉동식품의 저장에 폭 넓게 사용되어 온 고체이산화탄소를 이용하여 고농도 이산화탄소 처리와 동시에 예냉 처리를 할 수 있는 장치를 고안하며, 이 장치를 이용하여 현재 유통기간이 7일에 지나지 않는 무쌍의 저장성 향상을 위한 고이산화탄소 처리와 예냉의 효과를 알아보고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 고체 이산화탄소를 이용한 고농도 이산화탄소 처리 장치 개발

고체 이산화탄소를 이용하여 예냉과 동시에 고농도 이산화탄소 처리를 통해 저장성 향상을 꾀하기 위해 적합한 처리 장치를 개발하였다. 장치의 기본 원리는 영하 78.5°C의 고체 이산화탄소의 저온을 이용하여 처리장치내 싹채소에 냉풍과 동시에 고이산화탄소를 공급하는 것이다. 이를 위해 A형(일체형)과 B형(분리형)을 개발하여 무쌍의 예냉 및 고이산화탄소 처리에 이용하였다(Fig. 1). 개발한 처리장치의 효율을 알기 위해 식물체 처리공간의 온도와 이산화탄소 농도 변화를 infrared sensor(checkmate, PBI, Denmark)로 처리후 1, 10, 20, 30, 60분에 측정하였다.

### 2. 고농도 이산화탄소 처리

고농도 이산화탄소 처리는 모두 3가지를 하였는데, 포장시 고체이산화탄소를 넣어 80% 이산화탄소 농도를

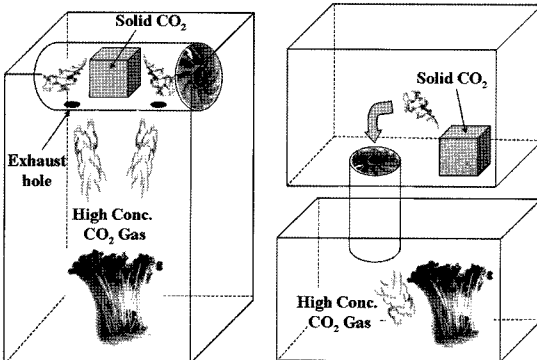


Fig. 1. The design drawing of high conc. treated equipments. The left one was single body type (A type), and the right one was separated type (B type).

맞춘 CO2-1처리와 저장전 0~4°C, 80% 이산화탄소에 2시간 처리한 CO2-2처리, 그리고 CO2-1과 CO2-2조건을 모두 처리한 CO2-3처리를 하였다. 무쌍은 싹채소용 무종자(아시아 종묘)를 4시간 동안 25°C 항온 수조에서 최아시켜 새싹채배용 용기에 파종한 후 25°C 항온기에서 암상태에서 5~7일간 재배한 후 1~2일간 녹화시켜 수확하였다. 저장조건은 일반적인 유통 온도인 8°C와 MA조건을 위해 기존의 싹채소 MA저장에 적합한 포장자재로 발표되었던(Kang 등, 2008) 25µm ceramic 필름으로 포장하였다. 저장성 비교를 위해 MA 포장한 싹채소를 5일 간격으로 생체중 감소정도와 외관 품질을 조사하였으며 포장재내부의 이산화탄소와 산소가스 농도를 측정하기 위해 포장재 외부에 실리콘을 접착시켜 측정기의 바늘을 수차례 관통하여도 가스 누출이 없게 처리한 후 infrared sensor(checkmate, PBI, Denmark)로 측정하였다. 저장 최종일에 포장재 내부의 에틸렌가스 농도는 gas chromatography(HP 5890II, HewlettPackard, USA)(Park 등, 2000)로 측정하였고 외관상 품질과 이취는 패널테스트를 통해 조사하였다. 모든 실험은 4반복으로 진행하였으며 통계처리는 Microsoft Excel 2002 program을 이용하여 표준편차로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 고체 이산화탄소를 이용한 고농도 이산화탄소 처리 장치 개발

고체 이산화탄소를 이용하여 예냉과 동시에 고농도 이산화탄소 처리를 통해 저장성 향상을 꾀하기 위해 적합한 처리 장치를 고안하였다. 처리 장치는 대상 작물과 고체 이산화탄소를 한 공간에 두는 일체형은(Fig. 1) 외부온도가 10°C일 때 처리대상 작물의 표면 온도는 기기 가동 10분 만에 5°C 이하로 내려갔으며, 이산화탄소농도 역시 10분만에 80% 수준으로 상승하였다. 이산화탄소 농도의 경우 처리 1시간 동안 계속적으로 80% 이상을 유지하여 제작한 고이산화탄소 처리 기기의 효과가 우수함을 알 수 있었으나 온도의 경우 처리 30분경 영하를 내려가 식물의 동해가 발생이 우려되었다(Fig. 2). 분리형은 그림 1처럼 고체 이산화탄소의 승화 부위와 식물체 처리부위를 분리시켜 제작하였는데 외부온도 10°C일 때 60분이 지나서야 작물의

고체 이산화탄소를 이용한 고농도 이산화탄소와 예냉 처리가 싹채소의 저장성에 미치는 영향

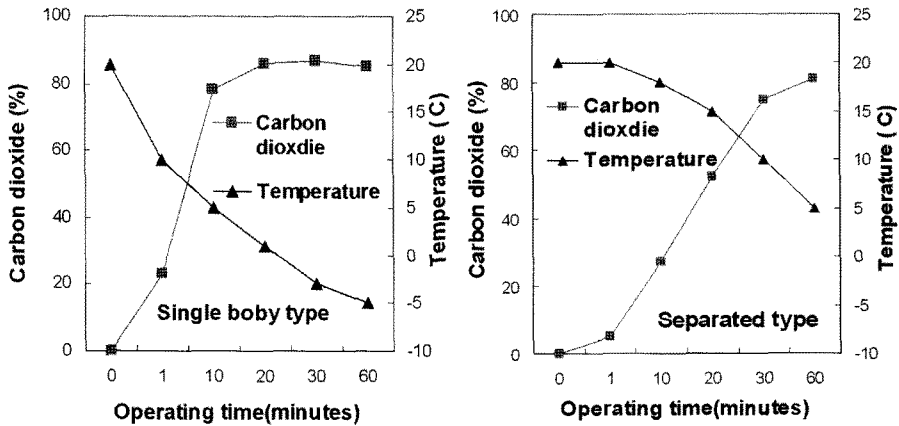


Fig. 2. The change of temperature of products and carbon dioxide concentration in the equipments; Left-single body type (A type) and Right-separated type (B type) after operating.

표면 온도가 5°C 이하로 저하되었으며, 이산화탄소 농도는 30분이 지나서야 80% 부근으로 상승하였다(Fig. 2). 일체형과 분리형을 비교해 볼 때 단순 고이산화탄소 처리에는 냉해의 위험이 없는 분리형이 유리할 것으로 생각된다. 그러나 고이산화탄소 처리와 함께 예냉을 목적으로 할 때는 처리 후 10분 이내 5°C 이하로 온도가 하강하는 직접분사식이 효과적이라 보이는데 일체형은 작물 표면 온도가 0°C 이상으로 유지를 위해 고체이산화탄소 분사거리 및 각도 등의 조절이 요구되었다. 본 실험에서는 분리형을 개량하여 실시하였는데 고체이산화탄소의 승화공간의 부피를 줄이고 식물체 처리공간으로 이산화탄소 확산부분의 공기 유동을 빠르게 수정하여 처리 20분 만에 무쌍의 표면 온도는 5°C, 이산화탄소 농도는 80%로 조절할 수 있었다.

## 2. 싹채소의 고이산화탄소 자극을 통한 저장성 향상 기술 개발

고농도 이산화탄소의 처리를 저장 전과 저장 중으로 조합하여 실험하였는데 무쌍의 생체중 변화는 대조구와 이산화탄소 처리간 차이에 통계적 유의성이 없었다(Fig. 3). 또한 모든 처리에서 생체중 감소가 1% 미만으로 생체중 감소에 의한 품질 저하는 없었던 것으로 보인다(Kays, 1991). 기존의 보고(Kang과 Kim, 2007)에서 무쌍의 MA저장에 효과적이었던 ceramic film으로 포장하였기 때문이라 사료된다.

포장재내 이산화탄소 농도는 포장내 고이산화탄소를 처리한 CO2-1과 CO2-3에서 저장직후 80%에서 저장

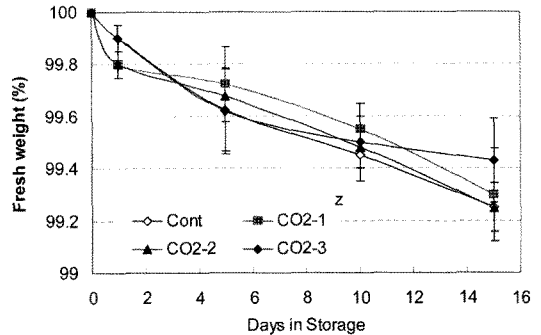


Fig. 3. The change of fresh weight of radish sprouts treated highconc. carbon dioxide before and during storage. They stored at 8°C, packed by 25µm ceramic film. Vertical bars represent ± SD of the means (n=4). Z Cont: nonCO2 treated CO2-1: CO2 treated during storage (in packages) CO2-2: CO2 treated before storage CO2-3: CO2 treated before and during storage (in packages).

1일째에 50%로 나타내었으나 저장전 고이산화탄소를 처리한 CO2-2와 대조구는 저장 1일째에 2% 내의 농도를 보였다. 그러나 저장 5일째에는 CO2-1과 CO2-3처리는 4-5%로 감소하였으며 CO2-2와 대조구는 3% 내외를 보이며 처리간 차이에 통계적 유의성은 없어졌으며, 저장 15일째에는 모든 처리구에서 2% 수준이었다(Fig. 4).

포장재내 산소 농도는 이산화탄소 농도와는 반대로 저장 1일째에는 포장내 고이산화탄소를 처리한 CO2-1과 CO2-3에서 10% 이하를 보였으며, CO2-2와 대조구는 19% 수준이었다. 5일째부터 15일째까지 CO2-1과 CO2-

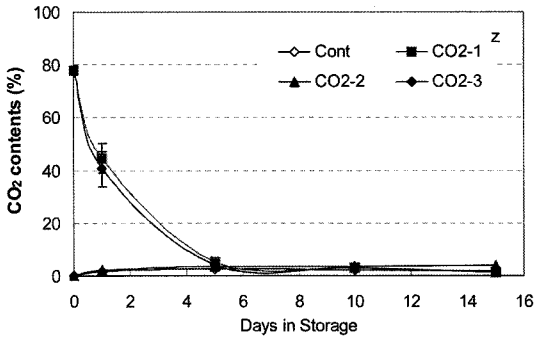


Fig. 4. The change of carbon dioxide concentration in MAP with radish sprouts treated highconc. carbon dioxide before and during storage. They stored at 8°C, packed by 25µm ceramic film. Vertical bars represent ± SD of the means (n = 4). Z See Fig. 3.

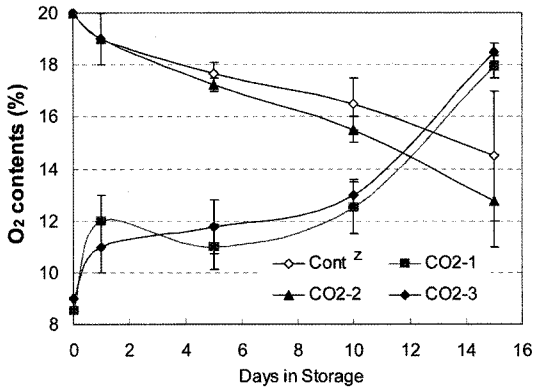


Fig. 5. The change of carbon dioxide concentration in MAP with radish sprouts treated highconc. carbon dioxide before and during storage. They stored at 8°C, packed by 25µm ceramic film. Vertical bars represent ± SD of the means (n = 4). Z See Fig. 3.

3 처리는 계속적으로 증가하여 18%까지 증가하였고, CO2-2와 대조구는 14% 내외로 감소하였다(Fig. 5).

싹채소의 적정 CA조건은 5% 산소와 15% 이산화탄소로 알려져 있어(Varoquaux 등, 1996) 저장 5일째 이후에 모든 처리구는 적절한 대기조성을 이루어졌던 것으로 보이는데, 기존의 보고에 의하면 mung bean의 경우 8도 저장시 15%의 CO2와 5% O2의 조건에서 5일 이상 저장되어 저장성이 향상되었다고 하였다(DeEll 등 2000).

저장 15일째 포장재내 에틸렌 농도는 고이산화탄소 처리 모두가 대조구보다 낮은 수준을 보였으며, 저장 전과 저장 중 모두 고이산화탄소를 처리한 CO2-3이

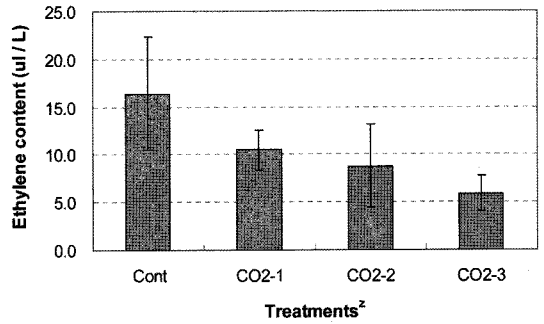


Fig. 6. The C2H4 contents in MAP with radish sprouts treated highconc. carbon dioxide before and during storage. They stored at 8°C for 15days, packed by 25µm ceramic film. Vertical bars represent ± SD of the means (n = 4). Z See Fig. 3.

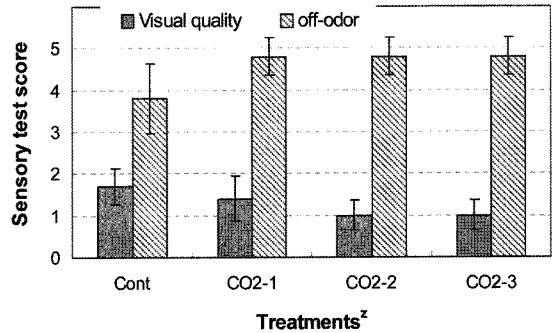


Fig. 7. The visual quality and offodor of radish sprouts treated highconc. carbon dioxide before and during storage. They stored at 8°C for 15days, packed by 25µm ceramic film. Vertical bars represent ± SD of the means (n = 4). Z See Fig. 3.

가장 낮은 수준을 나타냈으며 대조구와 차이에도 통계적 유의성이 있었다(Fig. 6). CA조건은 에틸렌 발생을 줄이는 것으로 알려져 있는데(Kays, 1991), 브로콜리를 3일간 5°C에서 20~40%의 고이산화탄소를 처리하였을 때 에틸렌 발생이 감소하였다고 한다(Wang, 2006). 에틸렌은 일반적으로 저장산물의 염록소 및 경도 감소 등을 여러 노화적 형태들이 시작되거나 가속화하여 제거 대상이 되지만(Kader, 1980; Watada, 1986), 싹채소의 경우 1ppm 수준의 에틸렌을 재배 중 처리하여 배축의 두께를 얇게 하는 등 품질을 향상시키는데 이용하고 있다(Bae 등, 2004). 저장중 에틸렌에 의한 무쌍의 품질저하에 관한 보고는 없었으며, 무가 에틸렌에 대한 감수성이 낮은 식물이라는 보고만이 있었다(Kader, 2002).

관능적 검사로 알아본 이취와 외관상 품질은 고이산화탄소처리의 효과를 찾아볼 수 없었다. 이취의 경우 고이산화탄소 처리간 차이를 없이 대조구보다 높았으나 통계적 유의성은 없었다(Fig. 7). 이취의 발생은 저장 대기 조성의 변화로 인한 저장산물이 무기호흡이 원인이 되는데(Kays, 1991), MA저장시 고농도 이산화탄소, 저농도 산소로 인해 발생하는 이취는 MA저장의 상용화에 가장 큰 걸림돌이 되지만(Kader, 2002; Lee, 1996), 본 실험에서는 저온저장 등을 통해 이산화탄소와 산소의 농도를 일정 수준으로 유지하여 피해를 줄일 수 있었던 것으로 사료된다.

고이산화탄소 처리 중 포장할 때 고이산화탄소를 처리하여 저장초기 포장재내 50% 수준의 높은 이산화탄소 농도를 보인 CO2-1과 CO2-3에서 높은 이취를 보인 점으로 보아, 비록 저장초기(1~5일)였지만 높게 유지되었던 이산화탄소농도가 무씨의 무기호흡을 유도한 것으로 보인다. 본 실험에서는 산소농도는 모든 처리구에서 초기에 10% 이상을 보여 저산소로 인한 무기호흡 유발은 아니었던 것으로 사료된다. 콩나물의 경우 이산화탄소 농도가 30% 이상일 경우 이취가 발생하였다고 하였는데(Bae 등, 2004). 본 연구에서 고이산화탄소 처리구의 경우 저장 초기에 1일 이상 40% 이상의 농도를 형성되었던 것이 높은 이취의 원인이 되었던 것으로 보인다.

그러나 저장중 이산화탄소 농도나 산소가 같은 수준이었던 CO2-2가 대조구보다 높은 이취를 보인 것은 저장 전 6시간 내외로 처리하였던 고이산화탄소가 무씨의 생리 반응에 영향을 미친 것으로 생각된다. 왜냐하면 고이산화탄소 조건에서 찾아볼 수 있는 에틸렌 발생 억제 효과가 CO2-2에서도 나타났기 때문이다.

외관상 품질은 통계적 유의성은 없었으나 고이산화탄소 처리가 무처리구보다 낮은 수준을 보였다(Fig. 7). 기존의 고이산화탄소 처리는 대추, 오이, 신선편이 케일, 고추, 당근 등에서 저장성 향상이 보고(Akbudaka 등, 2007; Amanatidou 등, 2008; Fonseca 등, 2005; Yang과 Lee, 2006)가 있었으나, 무씨의 저장성에는 고이산화탄소가 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

## 적 요

유통기한이 7일 밖에 되지 않는 무씨의 저장성 향

상을 위해서 고체 이산화탄소를 처리하였다. 이를 위해 고체 이산화탄소의 승화시 발생하는 이산화탄소와 극저온의 온도로 농산물에 고이산화탄소 처리와 예냉 처리를 동시에 할 수 있는 처리 장치를 개발하였는데 개발된 장치는 처리 대상 작물 주위를 10분만 5°C와 80% 이산화탄소로 조성하였다. 개발된 고이산화탄소 처리 장치를 이용하여 저장 전과 저장 중의 고체 이산화탄소 처리와 저장 전과 저장 중을 모두 한 처리, 그리고 무처리구를 두어 무씨의 저장성을 비교하였다. 고이산화탄소를 처리한 무씨는 25 $\mu$ m ceramic film 포장하여서 8°C에 저장하였다. 무씨의 고이산화탄소 처리는 생체중 감소에는 영향을 주지 못하였고 저장 1일째 포장내 이산화탄소와 산소 농도는 저장 중 처리구에서 40%와 10%로 고이산화탄소 농도를 보였으나 저장 7일째에는 모든 처리구의 이산화탄소 농도는 5% 미만으로 감소하였다. 고농도 이산화탄소 처리는 저장 15일째 에틸렌 농도를 낮추는 효과를 보였으나, 외관상 품질과 이취에서는 효과를 보이지 않았다.

**주제어** : 산소, 생체중 감소, 에틸렌, 외관상 품질, 이취

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구사업(#20070201080039) 결과의 일부이며 강원대학교 농업생명과학원의 지원으로 수행되었습니다.

## 인 용 문 헌

1. Akbudaka, B., M.H. Ozer, V. Uylaser, and B. Karaman. 2007. The effect of low oxygen and high carbon dioxide on storage and pickle production of pickling cucumbers cv. 'Octobus'. *J of Food Engineering* 78: 1034-1046.
2. Amanatidou, A., R.A. Slump, L.G.M. Gorris, and E.J. Smid. 2008. High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelflife extension of minimally processed carrots. *J. of Food Science* 65:61-66.
3. Bae, K.G., S.W. Nam, K.N. Kim, and Y.H. Hwang. 2004. Difference in freshness of soybean sprouts as affected by CO2 concentration and postharvest storage temperature. *Kor. J. of Crop Science* 49:172-178.
4. DeEll, J., C. Vigneault, F. Favre, T. Rennie, and et S. Khanizadeh. 2000. Vacuum cooling and storage temperature influence the quality of stored mung bean

- sprouts. *HortScience* 35:891-893.
5. Fonseca, S.C., F.A.R. Oliveira, J.K. Brecht, and K.V. Chau. 2005. Influence of low oxygen and high carbon dioxide on shredded Galega kale quality for development of modified atmosphere packages. *Postharvest Biol. and Technol.* 35:279-292.
  6. Kader, A.A. 1980. Prevention for ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technol.* 34:51-54.
  7. Kader, A.A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd edition. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, CA.
  8. Kang, H.M. and I.S. Kim. 2007. Comparison packing materials for proper MAP of mixed sprout vegetables. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25(Suppl, 1):77(Abstr.).
  9. Kang, H.M., I.L. Choi, and I.S. Kim. 2008. Comparison packing materials for proper MAP of mixed sprout vegetables. *J. BioEnviron. Control* 17:226-230.
  10. Kays, J.S. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. AVI Publishing, NY.
  11. Lee, S.K. 1996. *Postharvest physiology of horticultural crops*. Seung Gyun Co, Suwon.
  12. Meyerowitz, S. 1999. *Sprout the miracle food: the complete guide to sprouting* 6th Ed. Book Publishing Company, Summertown, TN.
  13. Park, Y.M. and S.K. Lee. 1992. Susceptibility of 'Fuji' apples to lowoxygen injury and highcarbon dioxide injury during CA storage. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33: 38-43.
  14. Park, K.W., H.M. Kang, and C.H. Kim. 2000. Comparison of storability on film sources and storage temperature for fresh Japanese mint in MA storage. *J. BioEnviron. Control* 9:40-46.
  15. Varoquaux, P., G. Albagnac, C. NguyenThe, and F. Varoquaux. 1996. Modified atmosphere packaging of fresh bean sprouts. *J. Sci. Food Agr.* 70:224-230.
  16. Wang, C.Y. 2006. Effect of shortterm high CO<sub>2</sub> treatment on the market quality of stored broccoli. *J. of Food Science* 44:1478-1482.
  17. Watada, A. E. 1986. Effects of ethylene on the quality of fruits and vegetables. *Food Technol.* 40:82-89.
  18. Yang, Y.J. and K.A. Lee. 2003. Effect of high carbon dioxide and PE film packaging on postharvest quality in jujube fruit 'Bokjo' and 'Mudeung'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21(Suppl, 1):79(Abstr.).